

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 03.06.01 Физика и астрономия / 01.04.07 Физика конденсированного состояния

Школа Исследовательская школа химических и биомедицинских технологий

Отделение Научно-исследовательский центр «Физическое материаловедение и композитные материалы» ИШХБМТ

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

| Тема научного доклада |
|---|
| Закономерности формирования гибридных биоразлагаемых волокнистых скэффолдов на основе поли-3-оксибутирата с улучшенным пьезоэлектрическим откликом |

УДК 620.22-419.8:678.5:60:537.226.8

Аспирант

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| А6-08 | Чернозем Роман Викторович | | |

Руководитель профиля подготовки

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор-консультант | Чернов Иван Петрович | д.ф.-м.н. | | |

Руководитель отделения

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Директор ИШХБМТ | Трусова Марина Евгеньевна | д.х.н. | | |

Научный руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Директор НИЦМФКМ доцент | Сурменев Роман Анатольевич | к.ф.-м.н., доцент | | |

Аннотация

Большая часть трудоспособного населения страдает от травм и повреждений опорно-двигательной системы. В связи с этим ученые и врачи совместно работают над разработкой новых «умных» материалов для изготовления имплантатов на их основе. В ряде случаев для лечения требуется регенерация костной ткани, что обеспечивает потребность применения *биорезорбируемых* материалов, которые должны быть *биосовместимыми* и обеспечивать *механические свойства*, идентичные костной ткани. Данные требования, предъявляемые тканевой инженерией, могут быть успешно выполнены при использовании полимерных материалов. Ученые и инженеры в течение последних десятилетий активно занимаются получением и исследованием 3-Д полимерных скэффолдов, которые позволяют обеспечить эффективную транспортировку питательных веществ, адгезию и пролиферацию клеток.

Относительно недавно внимание специалистов привлекли пьезоэлектрические материалы, которые способны обеспечить электростимуляцию клеток и остеогенез. Деформация нецентросимметричной кристаллической решетки пьезоэлектрических материалов индуцирует электрические заряды на их поверхности. Изготовление пьезоэлектрических скэффолдов, удовлетворяющих требованиям тканевой инженерии, является трудной научно-технической задачей.

На данный момент известно небольшое число биорезорбируемых пьезоэлектрических полимеров, наиболее широко известным из которых является природный поли-3-оксибутират (ПОБ). Фукада в 1986 г. впервые измерил сдвиговые пьезоэлектрические свойства ПОБ пленок, которые обусловлены наличием α -фазы. Существование нормального пьезоэлектрического отклика ПОБ оставалось под вопросом до недавнего времени. Последние исследования кристаллической структуры ПОБ пленок, подвергнутых растяжению при нагреве, установили формирование β -фазы. Экспериментально было показано наличие *эффективного* нормального и сдвигового пьезоэлектрического отклика ПОБ скэффолдов, содержащих α - и β -фазы. Однако, пьезоэлектрические свойства поликристаллического ПОБ не известны.

Недавние исследования *in vitro* и *in vivo* показали более быстрое восстановление костной ткани по мере увеличения пьезоэлектрического отклика пленок на основе не биорезорбируемого поливинилиденфторида (ПВДФ). Пьезоэлектрические свойства ПОБ в несколько раз меньше ПВДФ, поэтому с целью повышения пьезоэлектрического отклика ПОБ в работе было решено использовать двумерные нанопластинки восстановленного оксида графена (ВОГ), влияние которого на структуру и пьезоэлектрические свойства

ПОБ не исследовано. Однако, множество исследований демонстрируют увеличение пьезоэлектрических свойств ПВДФ с помощью добавления ВОГ.

Таким образом, данная работа направлена на комплексное исследование влияния ВОГ на структуру и пьезоэлектрические свойства ПОБ микроволокон, а также изучение механизма биомиметической минерализации карбоната кальция на поверхности волокон 3-Д ПОБ скэффолдов при воздействии ультразвука.

В **первой главе** представлен анализ литературы в рамках диссертационного исследования. Проанализированы требования, предъявляемые тканевой инженерией к биоматериалам и методы формирования полимерных ПОБ скэффолдов. Показана необходимость проведения исследований по улучшению пьезоэлектрических свойств скэффолдов.

Во **второй главе** описаны материалы и методы, необходимые для получения немодифицированных и гибридных ПОБ матриц с добавлением ВОГ методом электроформования, а также для анализа структуры, морфологии, молекулярного состава, физико-механических свойств и пьезоэлектрического отклика.

В **третьей главе** приведены результаты исследований о влиянии ВОГ на структуру, молекулярный состав и пьезоэлектрические свойства 3-Д ПОБ скэффолдов. Установлено увеличение значений поверхностного потенциала и пьезоэлектрического отклика ПОБ микроволокон при добавлении ВОГ вследствие изменения фазового и молекулярного состава скэффолдов.

В **четвертой главе** установлено, что добавление ВОГ не приводит к изменению морфологии, скорости биорезорбции и модуля Юнга ПОБ микроволокон. При этом, выявлено улучшение эластичности гибридных скэффолдов по сравнению с немодифицированными после инкубации в натрий-фосфатном буфере в течение 30 дней.

В **пятой главе** разработан механизм биомиметической минерализации фазы карбоната кальция на поверхности микроволокон 3-Д ПОБ матриц в динамических механических условиях. Анализ результатов минерализации позволил установить значительное увеличение массы фазы карбоната кальция при стимулировании пьезоэлектрического эффекта ПОБ микроволокон по сравнению со скэффолдами на основе ПОБ-3-оксивалерата, пьезоэлектрические свойства которого значительно меньше ПОБ. Немодифицированные и минерализованные 3-Д ПОБ матрицы демонстрируют отсутствие цитотоксического действия на остеобластоподобные человеческие клетки.